

用能技术还是管理技术?

——绿色技术创新发生环节和类型的抉择

张彩云^{1,2}, 寇冬雪³, 周云波^{4,5}

(1. 中国社会科学院 经济研究所, 北京 100836; 2. 中国社会科学院大学 经济学院, 北京 102488;

3. 中国社会科学院 工业经济研究所, 北京 100006; 4. 南开大学 经济学院, 天津 300071;

5. 中国特色社会主义经济建设协同创新中心, 天津 300071)

摘要:为厘清环境规制对企业绿色技术创新的影响及其机理,本文从企业绿色技术创新发生的环节和类型的视角切入,将企业绿色技术创新分为用能技术创新和管理技术创新两大类及其下设的七小类,并将之在生产链环节(源头、过程和末端)上加以归类,通过匹配沪深A股上市公司、《中国环境统计年鉴》和《中国工业经济统计年鉴》获取了关于环境规制和企业绿色技术创新的指标,研究了环境规制约束下企业绿色技术创新的抉择。结果发现:第一,环境规制整体上未对企业绿色技术创新有明显促进作用,“创新补偿”效应难以成立;第二,其内驱因素是,环境规制显著降低了企业生产率和收益率;第三,其外部原因是,与低污染行业企业相比,环境规制对高污染行业企业的绿色技术创新有一定促进作用,体现在用能技术创新、管理技术创新两方面,并分布在生产链的源头、过程及末端三个环节;第四,其外部原因还包括环境规制作用的阶段性,环境规制对个别绿色技术创新指标造成了先促进后抑制的影响,也影响了“创新补偿”效应的成立。据此,本文对环境规制约束下企业绿色技术创新的激励和选择提供一定启示。

关键词:绿色技术创新;用能技术;管理技术;环境规制;“创新补偿”效应

中图分类号:F062.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1002—980X(2022)8—0047—13

一、引言

在实施环境规制的过程中,绿色技术创新是协调经济增长与环境保护的关键因素(Magat, 1978)。理想的状态是,环境规制刺激企业绿色技术创新,从而兼得经济增长与环境保护。现实情况则是,企业倾向于通过购买治污设备等末端治理方式应对环境规制,而非通过绿色技术创新的方式(万攀兵等, 2021)。如何激励企业将应对环境规制的方式从末端治理向绿色技术创新转变,对环境治理目标的实现和经济高质量发展而言意义深远。本文将从企业绿色技术创新的方式切入,通过验证环境规制对不同生产环节和类型绿色技术创新的影响,从微观层面明晰企业应对环境规制压力的技术创新选择,找出企业兼顾环境保护和绿色技术创新的难点之所在,最终对如何刺激企业绿色技术创新提供思路借鉴。

一直以来,国家制定大量旨在激励企业开展绿色技术创新的环境政策,但是对企业技术创新的刺激作用十分有限(万攀兵等, 2021)。一方面可能是,各种环境规制措施更多的呈现出“一刀切”特点,针对性不强,无法做到精准施策,阻碍了环境规制工具的作用的发挥,甚至“抑制”了区域生态效率(李胜兰等, 2014)。沿着该思路,部分研究基于环境规制工具分类的视角,提出了更加具体的针对性政策,但结果表明,这些环境规制工具对绿色技术创新的激励依然差强人意(叶琴等, 2018)。另一方面,由于技术创新具有高投入、高风险、长周期等特性,企业主动开展技术创新的内生动力不足。吕炜(2001)的研究发现由于创新潜在价值的不确定性和由此导致的创新过程中的高风险性,多数投资者尤其是小企业根本无力承担技术创新带来的风险,以致望而却步。无论是从环境规制对绿色技术创新激励作用的有效性还是企业自身承担能力对创新活动构成的约束,都无法对企业绿色技术创新做出更好的激励。

事实上,环境规制引发的绿色技术创新会涉及企业的各个生产环节,一旦环境规制导致个别环节经营受

收稿日期:2022-05-05

基金项目:国家社会科学基金一般项目“我国经济中长期增长趋势和国际赶超前景研究(2020—2050年)”(18BJL026)

作者简介:张彩云,博士,中国社会科学院经济研究所、中国社会科学院大学经济学院副研究员,研究方向:资源环境经济与可持续发展、政府治理;(通讯作者)寇冬雪,博士,中国社会科学院工业经济研究所博士后,研究方向:资源环境经济与可持续发展、产业经济;周云波,博士,南开大学经济学院、中国特色社会主义经济建设协同创新中心副院长、教授,研究方向:收入分配。

损,各个生产环节的技术创新均会受阻,以至于整个生产流程技术创新步调放缓。面对环境规制的压力,企业有四种应对的选择:第一,一些企业从生产链源头上予以应对,即通过直接的绿色技术创新减少源头污染(黄德春和刘志彪,2006;Lanoie et al,2008);第二,同样是生产链源头,部分企业通过对污染要素的替代来降低污染要素投入,进而减少生产要素产生的污染(Morgenstern et al,2002);第三,另一些企业转向了生产链末端,通过末端治污技术创新或直接购买设备予以应对(岳鸿飞等,2017;Gray,1997);第四,还有一些企业将绿色技术创新活动渗透到生产链全过程,例如,通过管理模式创新和产品创新提高生产效率、降低生产成本、提高产品竞争力来间接应对,例如,Christmann(2000)认为企业可通过该改变生产工艺、完善产品设计等有效措施降低成本。不难看出,企业选择在生产链不同的环节应对环境规制,对最终结果的影响也各不相同,但是,通过第一种和第四种的绿色技术创新来治理环境污染更能有效的兼顾环境保护和经济增长(殷宝庆,2012),因为这对企业生产活动带来的损失最小,甚至能提升企业的经营效益。既然如此,相较于源头上的绿色技术创新和生产链过程中的绿色技术创新,为何企业更倾向于采取末端治理方式(第三种)(张彩云和吕越,2018)?带着这个问题,本文将从全生产链的视角出发,分析环境规制对企业不同生产环节绿色技术创新活动的影响,并明晰其中的作用机制。一方面,如果能识别出绿色技术创新发生的环节,可为“波特假说”的“创新补偿”环节提供一个更为细致的微观基础,从学理上丰富该假说的理论内涵;另一方面,如果存在兼具更易产生绿色技术创新和治污效应两项特质的生产环节,便可实施针对该环节的政策激励,做到精准施策,这不仅大大降低了环境规制的实施成本,还能有效激发企业的创新积极性进而加快企业绿色技术创新的进程。

既有相关研究中,对环境规制引发绿色技术创新的解释主要基于技术创新的环节视角从源头或末端进行解释,或者基于某一创新类型分析环境规制引发该技术创新的作用机制,从全生产链的视角将所有创新环节和创新类型纳入分析框架进而探讨企业应对环境规制的技术选择的逻辑机制鲜有涉及,无法从全局的视角对二者之间的关系做一系统性的剖析,从而对更深层次的环境规制与可持续发展之间的实现机制的挖掘更是流于表面。

鉴于此,本文有如下三方面的拓展:第一,研究视角方面,以企业的绿色技术创新的环节和类型为切入视角,考察了在不同生产环节企业应对环境规制的技术选择,为激发企业由被动治污向主动创新提供了一个新视角;第二,研究内容方面,以往研究多关注企业绿色技术创新的方式(末端治理、研发创新等),针对既有文献在绿色技术创新环节和类型方面的欠缺,本文通过分析用能技术创新和管理技术创新两大类及其下设的七小类技术创新的发生情况及发生的生产链环节(源头、过程或末端),分析了环境规制约束下企业绿色技术创新的选择,为“波特假说”的“创新补偿”效应提供了一个更为全面细致的微观机制,也为政策的精准实施提供了一个经验依据;第三,实证检验方面,通过匹配2009—2015年沪深A股上市公司、《中国环境统计年鉴》和《中国工业经济统计年鉴》获得了企业经营指标、专利指标及行业层面的环境规制指标,对环境规制引发的绿色技术创新环节、类型及其机制展开验证,为后续相关实证研究提供了新的逻辑思路。

二、文献综述与理论假说

(一)环境规制对绿色技术创新的影响

相关理论之中,大多研究从生产成本、环境规制强度、企业竞争力等视角对环境规制与技术创新的关系进行了研究(Gray,1987;Brunnermeier和Cohen,2003)。由于绿色技术创新和其他非环保类创新不易区分,衡量存在困难。因此,对环境规制和绿色技术创新的研究相对不足,间接相关的文献主要存在以下两种观点:一是环境规制对绿色技术存在促进作用,邓玉萍等(2021)采用通过检验节能低碳政策对绿色发明专利申请数量的影响,得出二者之间的积极作用,并受企业生产成本和创新投入的影响。张倩(2015)通过验证不同环境规制政策对绿色产品和绿色工艺创新的影响也得出同样结论。二是由于受环境规制工具、企业性质等影响,环境规制对绿色技术创新之间存在门槛、倒“U”型、W型等非线性特征(郭进,2019;张国兴等,2021;马鹤丹和张琬月,2022)。因此,环境规制对绿色技术创新的影响不可一概而论,关于其发生的条件和环节更需从深层次的维度进行挖掘。

对企业绿色技术创新环节的有效识别是精准施策的基础。但是在对绿色技术创新发生环节的有效识别之前,需要首先明确企业的创新意愿,即企业面临环境规制时是否进行绿色技术创新相关的环保投资。环境规制会直接影响企业的投资决策及创新绩效(Gray,1997;唐国平等,2013)。事实上,企业的环保投资意愿存

在“门槛效应”，面临环境规制的初期，企业的绿色技术创新投资不仅难以为企业带来直接的收入，而且挤占生产活动的投资，这直接影响到企业经营绩效，使得企业没有积极性进行绿色创新相关的环保投资（伍格致和游达明，2019；Orsato，2006）。所以，如果没有环境规制和经济激励措施，企业通常不会主动进行环保投资（原毅军和耿殿贺，2010），即使部分企业自愿进行环保投资，也往往出于降低环境遵守成本的目的（Maxwell和Decker，2006）。只有当环境规制力度加大到其不得不重视自身的环境治理时，各种环保投资才会发生（Gray和Deily，1996）。

（二）环境规制影响绿色技术创新发生的环节和类型

当企业存在创新能力时，便会采取技术创新方式应对环境污染，企业在生产环节的技艺改进减少污染物的产生，而治理环节的设备使用利于污染物的处理（韩超等，2021）。此外，还包含管理环节创新（Porter，1991；Porter和Linde，1995）。接下来本文将基于企业的生产链过程视角对绿色技术创新发生的环节做探讨，以明晰企业面临环境规制时，绿色技术创新发生的环节及具体类型。

首先，在生产源头方面，通过节能技术创新或资源配置应对环境规制。主要表现为，一是直接的节能技术的创新。节能技术创新的诱因之一是能源价格的提升（Noailly和Smeets，2013），环境规制提升了能源的使用价格，会促使生产者采用节能技术减少能源使用。Paul和Bhattacharya（2004）的研究发现，印度工业污染物排放降低的主要原因是节能技术的提升。二是通过生产要素之间的相互替代关系提升要素配置效率，具体表现为通过劳动力等清洁要素代替资本等造成污染的生产要素所产生的“要素转换”效应（张彩云等，2020；Morgenstern et al，2002）。

其次，在生产过程中，通过管理技术创新应对环境规制。企业在管理过程中应对环境规制的方式主要表现为管理工艺创新，管理工艺创新主要通过工艺改造、设备改造、废物循环利用等途径，有效降低排污量（张倩，2015；王锋正和郭晓川，2016）。环境规制会引导和激励企业围绕原材料投入、生产包装和废物处置等全过程活动，积极开展生产工艺流程的改进和升级，减少废弃物的产生和排放。不仅如此，企业还会因考虑提升社会形象强化环境管理，从而采取绿色工艺创新活动减低排污水平（张倩，2015）。

最后，在末端治理方面，通过开展治污技术创新或购买设备治理污染予以应对。治污技术创新是基于对末端污染物的去除以降低污染物排放的技术创新。适当的环境规制能有效激发企业进行治污技术创新，实现污染的减排和治理（李毅等，2020）。此外，企业在自主创新能力不足的情况下，会通过直接购买治污设备提升治污效率（Gray和Shadbegian，1993）。

基于此，本文提出假设1：

环境规制约束下企业选择绿色技术创新的环节分为源头、过程和末端，其技术创新的类型包括用能技术创新和管理技术创新两大类（H1）。

（三）环境规制影响绿色技术创新的因素：内驱因素和外部原因

第（二）部分为环境规制对绿色技术创新的影响提供了事实依据，也为环境治理的效果展现了一个理想状态。面对绿色技术创新艰难的事实，更需要讨论的是，为何部分企业宁愿选择末端治理也不愿进行绿色技术创新？这就需要明确什么因素在左右着绿色技术创新的发生。

首先，从企业自身的生产活动方面，环境规制降低了企业的生产率和收益率，直接提升了企业的生产成本，直接造成了产出的下降（Ambec et al，2013），这增加了企业的绿色技术创新成本，加大企业进行绿色创新的难度。即使环境规制能够倒逼企业的绿色技术创新，也会由于环保设备的额外损耗及生产资源与原有设备的不匹配等问题造成生产效率的下降（Hancevic和Ignacio，2016）。此时，面对高昂的治污成本，企业进行绿色技术创新的内在驱动力必然不足。

其次，被规制的企业特征是环境规制影响绿色创新的另一个重要因素，受规制主体特征不同，影响也不同。一般来说，环境规制对污染密集型行业的影响更高。相比清洁型行业，污染密集型行业是政府的重点监管对象，在环境规制的作用下，其对环境政策的反应更敏感，治污成本也会更高，因而也更有动力进行绿色技术创新，通过增加研发支出降低遵循环境规制所产生的成本，而清洁行业则相反（柳剑平和郑光凤，2013）。李婉红等（2013）也验证了在考虑行业规模和创新人力资源投入两个控制变量的情况下，严格的环境规制能有效促进污染密集行业实施绿色技术创新。

最后,环境规制对绿色技术创新的影响还可能有时滞性,从一个更长的时间维度上看,短期内无法实现的绿色技术创新,长期由于资源配置的优化可能会实现,“波特假说”也对此予以支持。由于绿色技术创新的时间周期长及其存在的渐进性等特点,从动态的视角看绿色技术创新的变化也更符合现实。

基于此,本文提出假设2:

环境规制影响绿色技术创新的因素存在内、外两种,内驱因素包括生产率和收益率,外部原因包括行业特征及阶段性特征(H2)。

三、研究设计

(一)模型选择

$$innovation_{ijpt} = \gamma ER_{jt} + \beta Z_{ijpt} + \alpha_i + \alpha_j + \alpha_p + \alpha_t + \varepsilon_{ijpt} \quad (1)$$

本文主要考察的是系数 γ ,即环境规制对企业绿色技术创新的影响系数; β 为控制变量的系数; $innovation_{ijpt}$ 为 j 行业 p 省份 i 企业在 t 时期的绿色创新指标; ER_{jt} 为 j 行业 t 时期的环境规制水平;实施后考虑到一些无法量化的城市特征、年份特征的影响, α_i 为个体固定效应,控制企业层面不随时间变化的因素; α_p 为省份固定效应,用来控制地域因素; α_j 为行业固定效应,控制行业层面一些无法用控制变量反映的因素; α_t 为时间固定效应,控制时间趋势因素; Z_{ijpt} 为控制变量; ε_{ijpt} 为误差项。

在分类回归部分涉及“创新补偿”效应的行业特征和阶段性特征,通过如下两个方程考察:

$$innovation_{ijpt} = \gamma_1 ER_{jt} + \gamma_2 wr \times ER_{jt} + \beta Z_{ijpt} + \alpha_i + \alpha_j + \alpha_p + \alpha_t + \varepsilon_{ijpt} \quad (2)$$

$$innovation_{ijpt} = \gamma_1 ER_{jt} + \gamma_2 ER_{jt}^2 + \beta Z_{ijpt} + \alpha_i + \alpha_j + \alpha_p + \alpha_t + \varepsilon_{ijpt} \quad (3)$$

式(2)中的系数 γ_2 表示相对于低污染行业,环境规制对高污染行业企业绿色技术创新的影响; wr 为虚拟变量,取值为0是低污染行业企业,取值为1表示高污染行业企业。式(3)加入了环境规制指标的二次项 ER_{jt}^2 ,显示了环境规制对企业绿色技术创新的阶段性影响。

(二)指标测度

1. 环境规制指标

环境规制的指标有多种,大体可总结为两种类型:一是投入型指标。Walter(1973)按照“污染者付费原则”,采用污染治理成本来表示环境规制水平。基于这个思路,为数不少的学者采用污染减排成本(pollution abatement cost)表示环境规制水平(Becker和Henderson,2000;Domazlicky和Weber,2004)。二是产出型指标。有学者采用二氧化硫排放量作为衡量环境规制水平的指标(Kolstad和Xing,2002),也有学者采用污染物的减排情况作为环境规制水平的代表性指标(Javorcik和Wei,2005)。当然,这些指标可能只是考虑了投入或产出,或者采用单一指标衡量,以至于无法全面顾及不同污染物的排放、减排成本及经济发展状况的影响,因而部分学者建议采用综合指标加以衡量。例如,Beers et al(1997)采用赋值法,将各项反映环境政策严格程度的指标进行排序、加总,最终得到一个可全面反映环境规制水平的指标。而傅京燕和李丽莎(2010)则选择了更为全面的指标,基于废水排放达标率、二氧化硫去除率、烟尘去除率、粉尘去除率和固体废物综合利用率5个单项指标,构造污染排放和工业产值的权数,以此加权平均获得一个综合指数来衡量环境规制。随着相关研究的深入,环境规制指标的内生性问题越发受到重视;Dasgupta et al(2001)发现了一国收入水平与环境规制水平之间的高度相关关系,于是选择GDP代表环境规制。第三,不少学者发现颗粒物中包含了多种污染物,以此度量环境规制比较合适。因此,越来越多的研究以PM2.5为研究对象(Freeman et al,2019;Koichiro和Zhang,2020)。

对于指标的选择,需要考虑以下几个问题:第一,从理论上讲,企业绿色技术创新受哪种类型的环境规制影响较大;第二,从数据上讲,这些指标是否可得。对于第一点,因寻找一个与企业绿色技术创新直接相关且能够代表环境规制的指标极为困难。因此,首先排除替代指标。再者,无论是污染物排放还是综合评价,都是产出类指标,受技术水平影响很强,从某种程度上讲很难有效反映企业的减排努力。此外,由于一系列环保政策交织在一起,理论上很难选出一个与企业绿色技术创新关联度较高且外生性较强的政策作为冲击展开自然实验。相较之下,单位产值的工业污染治理费用不仅直接反映企业的减排努力,也是一系列环境政策冲击的综合反映指标,且每个行业都产生治污费用。因此可作为本文的环境规制指标。对于第二点,根据上市公司数据集中于2009—2015年这一事实,只有单位产值的工业污染治理费用符合时间跨度长、指标较为

齐全的特征。综合这两点,本文的环境规制指标的代理变量采用单位产值的工业污染治理费用表示,这一治理费用包括工业废气治理设施运行费用和工业废水治理设施运行费用两项。

2. 绿色技术创新指标

绿色技术创新包含在企业技术创新范畴内,企业技术创新一般采用两类指标表示,创新投入指标和创新产出指标。创新投入采用三个指标加以衡量:第一,是否自主创新(rd),企业研发支出大于0取值为1,研发支出等于0则取值为0(罗伟和葛顺奇,2015);第二,自主创新强度,借鉴张杰等(2015)定义的研发投入强度变量,采用企业研发支出占主营业务成本衡量;第三,自主创新强度绝对指标,企业自主创新的绝对指标即企业研发支出也十分重要,这是提高自主研发强度的直接途径,借鉴倪晓然和朱玉杰(2016)对企业自主创新的指标构建方法,运用企业研发强度绝对指标代表,即企业研发创新加1后取对数。自主创新产出指标采用企业专利申请数代表,即企业发明专利申请数加1取对数(黎文靖和郑曼妮,2016)。

与以往学者所采用的指标略有不同,根据本文的研究主题,绿色技术创新的指标包括三类:第一类,创新投入和创新产出总况。前者创新强度绝对指标(lrd)代表,后者采用当年独立获发明量加1取对数($dllnno$)和当年联合获发明量加1取对数($lhlnno$)代表。第二类,用能技术创新。用替代能源发明授权量加1取对数($nylnno$)、节能发明授权量加1取对数($jnlnno$)、核能发电发明授权量加1取对数($hnlnno$)代表。第三类,管理技术创新。用废物管理发明授权量加1取对数($fwlnno$)、农林管理发明授权量加1取对数($nllnno$)、行政监管设计发明授权量加1取对数($xzlnno$)、运输发明授权量加1取对数($yslnno$)表示。此外,第二类技术创新中的第一项和第三项为源头技术创新,第二项为过程技术创新,第三类中的第二项为源头技术创新,第一项和第四项为末端技术创新,第三项为过程技术创新。

3. 控制变量选择

控制变量包括:①企业所有制(own_1, own_2)。 own_1 代表国有企业,如果属于该类型,结果为1,其他企业为0; own_2 代表民营企业,若为该类型,则为1,其他企业为0;对于企业的所有制特征,本文根据登记注册类型将国有企业(110)、国有联营企业(141)、国有与集体联营企业(143)和国有独资公司(151)划分为国有企业,将港澳台商企业(210-259)、中外合资和外资企业(310-359)划分为外资企业,剩余的划分为民营企业。②企业年龄(age),为了避免过多0值的存在,本文采用当年年份减去成立年份加1的方法衡量。③资本密集度($capital_in$)。一般资本密集型企业创新能力较强,本文将其作为控制变量,采用企业资本与就业人数之比代表。④企业规模($scale$)。采用企业就业人数的对数代表。⑤资产负债率($Debt-Ratio$),是企业负债总额与资产总额的比率,该指标反映了企业的经营活动能力。⑥企业净利润情况($Net\ margin$),该指标反映了企业盈利能力,采用净利润与主营业务收入之比代表。

(三)数据处理

企业层面数据来自于2009—2015年中国沪深两市A股上市公司,同时根据研究需要进一步对样本进行了如下处理:①考虑到环境规制的工业相关性,剔除金融业、农、林、牧、渔业等报表结构与其他行业有较大差异,或者无法得到环境规制指标的行业,仅保留工业行业的样本;②为保证数据质量和估计结果的稳健,剔除缺失值严重的样本;③剔除亏损巨大、财务状况异常、有退市风险的特别处理(ST)和特别转让(PT)的上市公司样本。最终获得7144个样本观测值。环境规制指标的数据主要来自于《中国环境统计年鉴》和《中国工业经济统计年鉴》。表1为变量描述统计。

表1 变量描述统计

变量名称	指标	单位	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
环境规制	ER	—	7,067	0.7725	0.1736	0	1.0356
研发支出(对数)	lrd	元	5,552	17.2478	1.4273	7.8500	24.6181
当年独立获发明量(对数)	$dllnno$	件	7,067	0.6631	1.0024	0	7.9295
当年联合获发明量(对数)	$lhlnno$	件	7,067	0.1997	0.5984	0	7.8071
替代能源发明授权量(对数)	$nylnno$	件	7,067	0.0375	0.2484	0	6.3596
节能发明授权量(对数)	$jnlnno$	件	7,067	0.0512	0.2705	0	3.8712
核能发电发明授权量(对数)	$hnlnno$	件	7,067	0.0002	0.0117	0	0.6931
废物管理发明授权量(对数)	$fwlnno$	件	7,067	0.0448	0.2502	0	5.0039
农林管理发明授权量(对数)	$nllnno$	件	7,067	0.0116	0.1456	0	4.1897
行政监管设计发明授权量(对数)	$xzlnno$	件	7,067	0.0038	0.0597	0	1.6094
运输发明授权量(对数)	$yslnno$	件	7,067	0.0180	0.1572	0	3.2189
是否国有企业	own_1	—	7,067	0.3924	0.4883	0	1
是否民营企业	own_2	—	7,067	0.5519	0.4973	0	1
企业年龄(对数)	age	年	7,067	2.6922	0.3763	0.6931	3.8918
资本密集度	$capital_in$	百万元/人	7,067	2.3867	4.9495	0.1121	305.6603
从业人数(对数)	$scale$	人	7,067	7.7533	1.1908	3.4340	13.2147
资产负债率	$Debt-Ratio$	—	7,067	0.4144	0.2054	0.0071	1.6499
净利润/主营业务收入	$Net\ margin$	—	7,067	0.0379	0.0594	-1.2199	0.5900

四、实证结果分析：环境规制对绿色技术创新的影响

表 2 中(1)~(3)列显示了环境规制对绿色技术创新投入和创新产出的影响,反映了“创新补偿”效应的整体情况。从回归结果中可见,环境规制对企业研发支出的影响为负数,且该在 5% 水平上显著不为 0,其对独立获发明量和联合获发明量均未产生显著影响,说明环境规制会降低绿色技术创新投入,但未显著影响到创新产出。

我们进一步研究环境规制对绿色技术创新产出中的用能技术创新和管理技术创新的影响,以考察绿色技术创新发生的环节和类型,进而对“创新补偿”效应发挥作用的形式加以验证。表 3 中的(1)~(3)列说明了环境规制对用能技术创新的影响,回归结果证明,环境规制未对能源专利、核电专利和节能专利产生显著影响。表 3 的(4)~(7)列展示了环境规制对管理技术创新的影响,可以看出,在四个代表管理技术创新的指标中,环境规制会刺激企业进行农林管理专利创新,对于废物管理、行政管理和物流管理方面的创新而言,环境规制并未起到显著的促进作用。

从表 2 和表 3 的回归结果中可以看出,整体来说,环境规制未起到刺激企业绿色技术创新的作用。环境规制降低了创新投入,但是未对创新产出产生显著影响。具体而言,环境规制对用能技术创新和管理技术创新的大部分指标未起到显著的促进作用,不仅如此,还显著抑制了原料管理创新,其发生在生产链的源头环节。

表 3 环境规制对用能技术创新和管理技术创新的影响

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	用能技术创新			管理技术创新			
	能源专利(源头)	核电专利(源头)	节能专利(过程)	原料管理:农林管理专利(源头)	行政管理:行政监管专利(过程)	废物管理:废物管理专利(末端)	物流管理:运输专利(末端)
	<i>nyInno</i>	<i>hdInno</i>	<i>jnInno</i>	<i>nlInno</i>	<i>xzInno</i>	<i>fwInno</i>	<i>ysInno</i>
<i>ER</i>	0.0513 (1.354)	-0.00256 (-1.170)	-0.0459 (-1.081)	0.0378** (2.558)	-0.00591 (-0.463)	0.0367 (0.935)	0.0161 (0.722)
控制变量	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
企业	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
行业	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
省份	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
年份	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
样本数	7067	7067	7067	7067	7067	7067	7067
<i>R</i> ²	0.00637	0.000725	0.00422	0.0271	0.000904	0.0201	0.00454

注:表中所有结果均利用 Stata14.0 软件计算而得;括号内为 *t* 统计值;*,**和***分别表示在 10%、5% 和 1% 的水平上显著;各回归方程在企业层面聚类;Y 表示“控制”。

当因变量为计数模型(人口数量、企业数量、专利数量等)时,也适合用负二项回归对方程进行回归。表 4 和表 5 就是对模型(1)进行负二项回归的结果,结果表明,环境规制会显著降低联合获发明数量,对用能技术创新的三个指标即能源专利、核电专利和节能专利并未产生显著的影响,与基准回归结果一致。关于环境规制对管理技术创新的影响,从表 5 中可以看出,该影响系数在大部分指标中并不显著,仅在环境规制对废物管理专利的影响中显著为负数,对

表 2 环境规制对绿色技术创新投入和创新产出的影响

变量	(1)	(2)	(3)
	创新投入和产出总况		
	创新投入	专利总量	
	<i>lrd</i>	<i>dlInno</i>	<i>lhInno</i>
<i>ER</i>	-0.254**(-2.331)	0.139(1.299)	-0.0386(-0.479)
<i>own₁</i>	0.177**(-2.347)	-0.0178(-0.250)	0.0524(1.486)
<i>own₂</i>	-0.0580(-1.014)	-0.0664(-1.028)	-0.0147(-0.511)
<i>age</i>	-0.377***(-5.047)	-0.144***(-3.033)	0.0216(0.868)
<i>capital_in</i>	-0.0391***(-3.990)	-0.000667(-0.711)	0.000408(1.319)
<i>scale</i>	0.578***(-18.389)	0.174***(-7.851)	0.112***(-7.109)
<i>Debt-Ratio</i>	0.180*(1.829)	-0.0625(-0.792)	-0.0902*(-1.899)
<i>Net margin</i>	1.395***(-4.828)	-0.174(-0.951)	0.0338(0.364)
常数项	12.40***(-23.751)	-1.365***(-4.303)	-0.771***(-2.794)
企业	Y	Y	Y
行业	Y	Y	Y
省份	Y	Y	Y
年份	Y	Y	Y
样本数	5552	7067	7067
<i>R</i> ²	0.200	0.0197	0.0107

注:表中所有结果均利用 Stata14.0 软件计算而得;括号内为 *t* 统计值;*,**和***分别表示在 10%、5% 和 1% 的水平上显著;各回归方程在企业层面聚类;Y 表示“控制”。

表 4 环境规制对专利总量的影响(负二项回归方法)

变量	(1)	(2)
	专利总量	
	<i>dlInno</i>	<i>lhInno</i>
<i>ER</i>	0.0704(0.308)	-1.304***(-3.105)
控制变量	Y	Y
企业	Y	Y
行业	Y	Y
省份	Y	Y
年份	Y	Y
样本数	7067	7067

注:表中所有结果均利用 Stata14.0 软件计算而得;括号内为 *Z* 统计值;*,**和***分别表示在 10%、5% 和 1% 的水平上显著;Y 表示“控制”。

原料管理专利、行政管理专利、物流管理专利并未产生显著的影响。

总结表 2~表 5 的回归结果可以发现,整体上来看,环境规制不利于绿色技术创新;从绿色技术创新的类型和环节来看,对用能技术创新和管理技术创新的各项细化指标的影响符号或不显著或不稳定。说明环境规制并未起到刺激企业绿色技术创新的作用,“创新补偿”效应未见成立,该效应不仅总体上未发挥作用,而且在生产过程中的各个环节和类型均不成立。

表 5 环境规制对用能技术创新和管理技术创新的影响(负二项回归方法)

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	用能技术创新			管理技术创新			
	<i>nylnno</i>	<i>hdlnno</i>	<i>jnlnno</i>	<i>nllnno</i>	<i>xzlnno</i>	<i>fulnno</i>	<i>yslnno</i>
<i>ER</i>	0.107(0.123)	-4.336(-1.258)	-0.569(-0.720)	6.723(1.488)	-0.211(-0.082)	-1.867***(-2.784)	1.216(0.951)
控制变量	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
企业	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
行业	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
省份	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
年份	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
样本数	7067	7067	7067	7067	7067	7067	7067

注:表中所有结果均利用 Stata14.0 软件计算而得;括号内为 Z 统计量;*,**和***分别表示在 10%、5% 和 1% 的水平上显著;Y 表示“控制”。

五、“创新补偿”效应未发挥作用的原因:内部和外部

(一)内驱因素:环境规制对企业生产率和收益率的影响

环境规制未起到刺激企业绿色技术创新的原因分为内驱因素和外部原因两类,内驱因素是企业对于环境规制降低其生产率和收益率的顾虑。将被解释变量更换为企业生产率和收益率后,对公式(1)进行回归,其结果见表 6。(1)~(3)列显示了环境规制对企业生产率的影响,与绝大多数文献一样,选择了 Alley and Pakes(LP)方法和 Levinsohn and Petrin(OP)方法对企业生产率进行测算,同时,为进一步验证该结果的可靠性和稳健性,本文还采用 ACF(Akerberg-Caves-Frazer)方法对企业生产率重新进行了测算。Akerberget 和 Caves(2015)认为由于资本、劳动很可能是其他要素,如中间品的决定因素之一,这使得 OP (Olley and Pakes)方法和 LP(Levinsohn and Petrin)方法在估计上产生多重共线性和内生性的问题,并为此提出了解决该问题的新方法:假设资本投入决策先于其他生产要素,同时将劳动力投入引入中间品需求函数,从而得到生产函数的一致性估计,以提高估计结果的准确性(盛丹和张国峰,2019)。从回归结果中可以看到,环境规制显著降低了生产率,这说明,环境规制会增加企业额外治污成本,改变了企业的生产结构,进而降低了生产效率。

表 6(4)、(5)列展示了环境规制对收益率的影响,从回归结果中可以看到,环境规制会直接降低企业净利润率和资产收益率,这种负向影响在 5% 的水平上是显著成立的。结合(1)~(3)列可以发现,环境规制会直接降低企业生产率和收益率,对于企业的绿色技术创新活动而言构成了压力,进而难以刺激企业的“创新补偿”效应。

(二)“创新补偿”效应未发挥作用的外部原因:行业特征和阶段性特征

从理论上讲,环境规制可刺激企业进行绿色技术创新,进而通过提升生产率的方式来弥补环境规制对企业生产活动造成的负面影响。本文基准回归发现,环境规制并未“倒逼”企业进行绿色技术创新,因而并未激发出企业的“创新补偿”效应。在分析完内驱因素之后,本部分将对“创新补偿”效应未发挥作用的外部原因进行进一步诠释。第一,从环境规制的对象来看,其主要针对的是排污量高、浓度大的企业,所以,“创新补偿”效应极有可能只在污染企业中发挥作用。如果不对企业进行比较分类,有可能低估“创新补偿”效应,因

表 6 环境规制对企业生产率和企业收益率的影响

变量	企业生产率			企业收益率	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	LP 方法	Op 方法	ACF 方法	净利润率	资产收益率
<i>ER</i>	-0.268*** (-4.565)	-0.0538* (-1.656)	-0.102*** (-2.761)	-0.0169** (-2.234)	-0.318** (-2.317)
控制变量	Y	Y	Y	Y	Y
企业	Y	Y	Y	Y	Y
行业	Y	Y	Y	Y	Y
省份	Y	Y	Y	Y	Y
年份	Y	Y	Y	Y	Y
样本数	7067	7065	7065	7067	7067
<i>R</i> ²	0.268	0.148	0.261	0.0529	0.0379

注:表中所有结果均利用 Stata14.0 软件计算而得;括号内为 t 统计量;*,**和***分别表示在 10%、5% 和 1% 的水平上显著;各回归方程在企业层面聚类;Y 表示“控制”。

而需要按照污染程度进行分类,以考察“创新补偿”效应发挥作用的环节。第二,环境规制对绿色技术创新的影响可能存在阶段性,反映到计量回归结果上就是出现了拐点,通过考察环境规制的这种阶段性影响来明确“创新补偿”效应未发挥作用的原因。

1. 高污染产业和低污染产业

根据《上市公司环保核查行业分类管理名录》(环办函[2008]373号)将所有企业按行业划分为高污染行业企业^①和低污染行业企业两类。对方程(2)进行回归的结果见表7和表8,从中可以看出,面对环境规制压力,相对于低污染行业企业,高污染行业企业的绿色技术创新投入和创新产出并未有实质性变化。关于绿色技术创新各个分项来说,相比低污染行业企业,环境规制对高污染行业企业的节能专利和运输专利有着显著促进作用,其系数分别在10%和5%的水平上显著为正,关于绿色技术创新的其他系数,环境规制的影响未呈现出显著区别。该回归结果说明,与低污染行业企业相比,环境规制更能刺激高污染行业企业的用能技术创新和管理技术创新,其多发生在生产链的过程和末端。

为确保回归结果是稳健的,采用负二项回归方法计算了环境规制对企业绿色技术创新的影响,从表9的结果中可以看出,与低污染行业企业相比,环境规制并未从总体上刺激高污染行业企业进行绿色技术创新。表10的结果则显示,与低污染行业企业相比,环境规制显著提高了高污染行业企业核电专利、废物管理专利和农林管理专利的数量,意味着与低污染行业企业相比,环境规制显著刺激了高污染行业企业的用能技术和管理技术创新,且这种创新活动多发生在生产链源头和过程之中。

表7~表10的回归结果说明,“创新补偿”效应整体上难以发挥作用,但是在一定程度上可刺激高污染产业企业进行绿色技术创新,其体现为用能技术创新和管理技术创新两种形式,分布在生产链的源头、过程及末端。

2. 环境规制对绿色技术创新的阶段性影响

对方程(3)进行回归可以得到环境规制对企业绿色技术创新的影响的回归结果。表11和表12的回归结果表明,环境规制并未显著影响到企业的绿色技术创新投入和联合发明专利,也未显著影响到节能专利和核电专利,对四个管理技术创新的指标也无显著影响,但对独立发明专利和能源专利的影响呈现出显著的倒“U”型,即随着环境规制强度的增加,企业独立发明的数量和能源专利数量是先增加后下降的。此后,采用负二项回归方法验证了环境规制对企业绿色技术创新的影响,其结果见表13和表14,可以看出,

表7 环境规制对不同污染程度企业绿色技术创新总况的影响

变量	(1)	(2)	(3)
	创新投入和创新产出总况		
	创新投入	专利总量	
	<i>lrd</i>	<i>dlInno</i>	<i>lhInno</i>
<i>wr×ER</i>	0.101(0.251)	0.127(0.481)	0.245(1.590)
<i>ER</i>	-0.270**(-2.455)	0.140(1.239)	-0.0628(-0.735)
控制变量	Y	Y	Y
企业	Y	Y	Y
行业	Y	Y	Y
省份	Y	Y	Y
年份	Y	Y	Y
样本数	5552	7067	7067
<i>R</i> ²	0.200	0.0197	0.0111

注:表中所有结果均利用 Stata14.0 软件计算而得;括号内为 *t* 统计值;*,**和***分别表示在 10%、5% 和 1% 的水平上显著;各回归方程在企业层面聚类;Y 表示“控制”。

表8 环境规制对不同污染程度企业用能技术创新和管理技术创新的影响

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	用能技术创新			管理技术创新			
	<i>nyInno</i>	<i>hdInno</i>	<i>jnInno</i>	<i>nlInno</i>	<i>xzInno</i>	<i>feInno</i>	<i>ysInno</i>
<i>wr×ER</i>	0.0655 (0.939)	0.000410 (0.497)	0.0592* (1.732)	0.0285 (0.836)	0.00227 (0.345)	-0.0899 (-0.974)	0.0517** (2.005)
<i>ER</i>	0.0501 (1.303)	-0.00296 (-1.154)	-0.0550 (-1.196)	0.0387** (2.498)	-0.00678 (-0.486)	0.0484 (1.210)	0.0129 (0.540)
控制变量	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
企业	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
行业	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
省份	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
年份	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
样本数	7067	7067	7067	7067	7067	7067	7067
<i>R</i> ²	0.00636	0.000780	0.00441	0.0271	0.000930	0.0200	0.00459

注:表中所有结果均利用 Stata14.0 软件计算而得;括号内为 *t* 统计值;*,**和***分别表示在 10%、5% 和 1% 的水平上显著;各回归方程在企业层面聚类;Y 表示“控制”。

表9 环境规制对不同污染程度企业绿色技术创新总况的影响
(负二项回归方法)

变量	(1)	(2)
	专利总量	
	<i>dlInno</i>	<i>lhInno</i>
<i>wr×ER</i>	0.596(0.778)	0.632(0.615)
<i>ER</i>	0.0524(0.225)	-1.494***(-3.232)
控制变量	Y	Y
企业	Y	Y
行业	Y	Y
省份	Y	Y
年份	Y	Y
样本数	7067	7067

注:表中所有结果均利用 Stata14.0 软件计算而得;括号内为 *Z* 统计量;*,**和***分别表示在 10%、5% 和 1% 的水平上显著;Y 表示“控制”。

① 高污染行业主要包括火电、钢铁、水泥、电解铝、煤炭、冶金、化工、石化、建材、造纸、酿造、制药、发酵、纺织、制革和采矿业等 16 个行业。

环境规制对大部分绿色技术创新指标难以起到激励作用,但降低了联合发明专利数量和废物管理专利数量。

表 11~表 14 的回归结果表明,环境规制对企业绿色技术创新的影响在大部分指标中难以呈现阶段性特征,但是对个别指标的影响呈现出先促进后抑制的状态。

表 10 环境规制对不同污染程度企业用能技术创新和管理技术创新的影响(负二项回归方法)

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	用能技术创新			管理技术创新			
	<i>nyInno</i>	<i>hdInno</i>	<i>jnInno</i>	<i>nlInno</i>	<i>xzInno</i>	<i>fwInno</i>	<i>ysInno</i>
<i>wr</i> × <i>ER</i>	3.139(0.697)	-32.72***(-11.930)	-11.56(-0.955)	19.65**(2.335)	37.46(0.682)	2.262*(1.949)	-119.9(-1.080)
<i>ER</i>	0.120(0.137)	-3.048**(-2.303)	-0.550(-0.697)	5.103(1.568)	-0.560(-0.193)	-1.802**(-2.432)	1.410(1.086)
控制变量	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
企业	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
行业	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
省份	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
年份	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
样本数	7067	7067	7067	7067	7067	7067	7067

注:表中所有结果均利用 Stata14.0 软件计算而得;括号内为 Z 统计量;*,**和***分别表示在 10%、5% 和 1% 的水平上显著;Y 表示“控制”。

表 11 环境规制对企业绿色技术创新总况的阶段性影响

变量	(1)	(2)	(3)
	创新投入和创新产出总况		
	创新投入	专利总量	
	<i>lrd</i>	<i>dlInno</i>	<i>lhInno</i>
<i>ER</i> ²	-0.326(-0.594)	-0.887***(-2.673)	0.0190(0.065)
<i>ER</i>	0.174(0.230)	1.292*** (2.868)	-0.0633(-0.157)
控制变量	Y	Y	Y
企业	Y	Y	Y
行业	Y	Y	Y
省份	Y	Y	Y
年份	Y	Y	Y
样本数	5552	7067	7067
<i>R</i> ²	0.200	0.0204	0.0107

注:表中所有结果均利用 Stata14.0 软件计算而得;括号内为 t 统计值;*,**和***分别表示在 10%、5% 和 1% 的水平上显著;各回归方程在企业层面聚类;Y 表示“控制”。

表 12 环境规制对用能技术创新和管理技术创新的阶段性影响

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	用能技术创新			管理技术创新			
	<i>nyInno</i>	<i>hdInno</i>	<i>jnInno</i>	<i>nlInno</i>	<i>xzInno</i>	<i>fwInno</i>	<i>ysInno</i>
<i>ER</i> ²	-0.184* (-1.785)	0.00180 (0.312)	-0.0291 (-0.216)	0.0188 (0.909)	-0.0235 (-0.611)	-0.0218 (-0.160)	-0.0647 (-1.124)
<i>ER</i>	0.290** (1.995)	-0.00482 (-0.539)	-0.00805 (-0.044)	0.0135 (0.424)	0.0243 (0.499)	0.0649 (0.331)	0.100 (1.290)
控制变量	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
企业	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
行业	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
省份	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
年份	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
样本数	7067	7067	7067	7067	7067	7067	7067
<i>R</i> ²	0.00664	0.000759	0.00423	0.0272	0.000960	0.0201	0.00463

注:表中所有结果均利用 Stata14.0 软件计算而得;括号内为 t 统计值;*,**和***分别表示在 10%、5% 和 1% 的水平上显著;各回归方程在企业层面聚类;Y 表示“控制”。

六、结论与启示

兼顾环境治理与经济发展是各国面临的一个难题,从微观角度来看,通过环境规制刺激企业绿色技术创新是破局的关键。源于这个背景,本文以企业绿色技术创新发生的环节和类型为切入视角,将企业绿色技术创新分为用能技术创新和管理技术创新两大类及其下设的七小类技术创新,并将之在生产链环节(源头、过程或末端)上加以归类,通过匹配 2009—2015 年沪深 A 股上市公司、《中国环境统计年鉴》和《中国工业经济

表 13 环境规制对企业绿色技术创新总况的阶段影响(负二项回归方法)

变量	(1)	(2)
	专利总量	
	<i>dlInno</i>	<i>lhInno</i>
ER^2	-0.428 (-0.434)	2.374 (1.637)
ER	0.627 (0.482)	-4.106** (-2.395)
控制变量	Y	Y
企业	Y	Y
行业	Y	Y
省份	Y	Y
年份	Y	Y
样本数	7067	7067

注:表中所有结果均利用 Stata14.0 软件计算而得;括号内为 Z 统计量; *、**和***分别表示在 10%、5% 和 1% 的水平上显著;Y 表示“控制”。

表 14 环境规制对用能技术创新和管理技术创新的阶段影响(负二项回归方法)

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	用能技术创新			管理技术创新			
	<i>nyInno</i>	<i>hdInno</i>	<i>jnInno</i>	<i>nlInno</i>	<i>xzInno</i>	<i>fuInno</i>	<i>ysInno</i>
ER^2	1.198 (0.323)	-20.18 (-1.172)	1.902 (0.631)	-6.240 (-0.263)	-1.600 (-0.141)	2.664 (1.082)	-6.224 (-0.855)
ER	-1.448 (-0.297)	20.06 (0.774)	-3.031 (-0.769)	15.04 (0.454)	1.913 (0.122)	-4.906* (-1.661)	9.286 (0.988)
控制变量	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
企业	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
行业	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
省份	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
年份	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
样本数	7067	7067	7067	7067	7067	7067	7067

注:表中所有结果均利用 Stata14.0 软件计算而得;括号内为 Z 统计量; *、**和***分别表示在 10%、5% 和 1% 的水平上显著;Y 表示“控制”。

统计年鉴》获取了关于环境规制和企业绿色创新的指标,研究了环境规制约束下企业对于绿色技术创新环节和类型的选择,结果发现:第一,环境规制整体上不利于企业绿色技术创新,无论是创新投入和创新产出,皆由此结果,说明“创新补偿”效应难以成立;第二,其内驱因素是,环境规制显著降低了企业生产率和收益率,顾及到其对企业经营带来的损失,企业难以将财力用于绿色技术创新;第三,其外部原因是,环境规制对不同类型企业绿色技术创新的影响是不同的,将所有样本糅杂到一起影响到回归结果的显著性,与低污染行业企业相比,环境规制在部分指标中对高污染行业企业的创新活动有着明显的促进作用,体现在用能技术创新、管理技术创新,也体现在生产链的源头、过程及末端;第四,“创新补偿”效应未发挥作用的外部原因还包括环境规制作用的阶段性,若欠考虑该因素,可能回归结果也会不准确,结果意味着,环境规制对企业绿色技术创新的影响难以呈现出阶段性特征,但对个别绿色技术创新指标造成了先促进后抑制的影响。

根据以上结论提出如下政策建议:

第一,环境规制不能“一刀切”,要因行业和发展阶段而异。部分行业尤其是污染行业短期内难以承受高强度的环境规制压力,可循序渐进逐渐加大环境规制强度,而非一蹴而就。

第二,环境规制可能在短期内降低企业生产率和收益率,有此顾虑,企业绿色技术创新的积极性大打折扣,政策制定者可通过技术指导、技术推广等方式降低企业绿色技术创新的成本,通过税收、财政等手段提高绿色技术创新的收益,由此可激励企业进行绿色创新。

参考文献

- [1] 邓玉萍,王伦,周文杰,2021.环境规制促进了绿色创新能力吗?——来自中国的经验证据[J].统计研究,38(7): 76-86.
- [2] 傅京燕,李丽莎,2010.环境规制、要素禀赋与产业国际竞争力的实证研究——基于中国制造业的面板数据[J].管理世界,27(10): 87-98, 87.
- [3] 郭进,2019.环境规制对绿色技术创新的影响——“波特效应”的中国证据[J].财贸经济,40(3): 147-160.

- [4] 韩超,王震,田蕾,2021.环境规制驱动减排的机制:污染处理行为与资源再配置效应[J].世界经济,44(8):82-105.
- [5] 黄德春,刘志彪,2006.环境规制与企业自主创新——基于波特假设的企业竞争优势构建[J].中国工业经济,(3):100-106.
- [6] 黎文靖,郑曼妮,2016.实质性创新还是策略性创新?——宏观产业政策对微观企业创新的影响[J].经济研究,51(4):60-73.
- [7] 李胜兰,初善冰,申晨,2014.地方政府竞争、环境规制与区域生态效率[J].世界经济,37(4):88-110.
- [8] 李婉红,毕克新,孙冰,2013.环境规制强度对污染密集行业绿色技术创新的影响研究——基于2003—2010年面板数据的实证检验[J].研究与发展管理,25(6):72-81.
- [9] 李毅,胡宗义,何冰洋,2020.环境规制影响绿色经济发展的机制与效应分析[J].中国软科学,(9):26-38.
- [10] 柳剑平,郑光凤,2013.环境规制、研发支出与全要素生产率——基于中国大中型工业企业的面板模型[J].工业技术经济,32(11):90-99.
- [11] 罗伟,葛顺奇,2015.跨国公司进入与中国的自主研发:来自制造业企业的证据[J].世界经济,38(12):29-53.
- [12] 吕炜,2001.风险投资的经济学家考察——制度、原理及中国化应用的研究[M].北京:经济科学出版社.
- [13] 马鹤丹,张琬月,2022.环境规制组态与海洋企业技术创新——基于30家海工装备制造企业的模糊集定性比较分析[J].中国软科学,(3):124-132.
- [14] 倪晓然,朱玉杰,2016.劳动保护、劳动密集度与企业创新——来自2008年《劳动合同法》实施的证据[J].管理世界,33(7):154-167.
- [15] 盛丹,张国峰,2019.两控区环境管制与企业全要素生产率增长[J].管理世界,35(2):24-42,198.
- [16] 唐国平,李龙会,吴德军,2013.环境管制、行业属性与企业环保投资[J].会计研究,(6):83-89,96.
- [17] 万攀兵,杨冕,陈林,2021.环境技术标准何以影响中国制造业绿色转型——基于技术改造的视角[J].中国工业经济,(9):118-136.
- [18] 王锋正,郭晓川,2016.政府治理、环境管制与绿色工艺创新[J].财经研究,42(9):30-40.
- [19] 伍格致,游达明,2019.环境规制对技术创新与绿色全要素生产率的影响机制:基于财政分权的调节作用[J].管理工程学报,33(1):37-50.
- [20] 叶琴,曾刚,戴劭勃,等,2018.不同环境规制工具对中国节能减排技术创新的影响——基于285个地级市面板数据[J].中国人口·资源与环境,28(2):115-122.
- [21] 殷宝庆,2012.环境规制与我国制造业绿色全要素生产率——基于国际垂直专业化视角的实证[J].中国人口·资源与环境,22(12):60-66.
- [22] 原毅军,耿殿贺,2010.环境政策传导机制与中国环保产业发展——基于政府、排污企业与环保企业的博弈研究[J].中国工业经济,(10):65-74.
- [23] 岳鸿飞,徐颖,吴璘,2017.技术创新方式选择与中国工业绿色转型的实证分析[J].中国人口·资源与环境,27(12):196-206.
- [24] 张彩云,吕越,2018.绿色生产规制与企业研发创新——影响及机制研究[J].经济管理,40(1):71-91.
- [25] 张彩云,夏勇,王勇,2020.总量控制对资源配置的影响:基于“两控区”和约束性污染控制政策的考察[J].南开经济研究,(4):185-205.
- [26] 张国兴,冯祎琛,王爱玲,2021.不同类型环境规制对工业企业技术创新的异质性作用研究[J].管理评论,33(1):92-102.
- [27] 张杰,陈志远,杨连星,等,2015.中国创新补贴政策的绩效评估:理论与证据[J].经济研究,50(10):4-17,33.
- [28] 张倩,2015.环境规制对绿色技术创新影响的实证研究——基于政策差异化视角的省级面板数据分析[J].工业技术经济,34(7):10-18.
- [29] ACKERBERG D A, CAVES K, FRAZER G, 2015. Identification properties of recent production function estimators[J]. Econometrica, 83(6): 2411-2451.
- [30] AMBEC S, COHEN M A, ELGIE S, et al, 2013, The Porter Hypothesis at 20: Can environmental regulation enhance innovation and competitiveness?[J]. Review of Environmental Economics and Policy, 7(1): 2-22.
- [31] BECKER R, HENDERSON V, 2000. Effects of air quality regulation on in polluting industries[J]. Journal of Political Economy, 108(2): 379-421.
- [32] BEERS C V, JEROEN C J M, VAN DEN BERGH, 2020. An empirical multi-country analysis of the impact of environmental regulations on foreign trade flows[J]. Kyklos, 50(1): 29-46.
- [33] BRUNNERMEIER S B, COHEN M A, 2003. Determinants of environmental innovation in US manufacturing industries[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 45(2): 278-293.
- [34] CHRISTMANN P, 2000. Effects of best practices of environmental management on cost advantage: The role of complementary assets[J]. Academy of Management Journal, (43): 663-680.

- [35] DASGUPTA S, MODY A, ROY S, et al, 2001. Environmental regulation and development: A cross-country empirical analysis[J]. Oxford Development Studies, 29(2): 173-187.
- [36] DOMAZLICKY B R, WEBER W L, 2004. Does environmental protection lead to slower productivity growth in the chemical industry?[J]. Environmental and Resource Economics, 28(3): 301-324.
- [37] FREEMAN R, LIANG W, SONG R, et al, 2019. Willingness to pay for clean air in China[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 94: 188-216.
- [38] GRAY W B, 1987. The cost of regulation: OSHA, EPA and the productivity slowdown[J]. American Economic Review, 77: 998-1006.
- [39] GRAY W B, 1997. Manufacturing plant location: Does state pollution regulation matter?[J]. NBER Working Papers, No. 5880.
- [40] GRAY W B, DEILY M E, 1996. Compliance and enforcement: Air pollution regulation in the U. S. steel industry[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 31(1): 96-111.
- [41] GRAY W B, SHADBEGIAN R J, 1993. Environmental regulation and manufacturing productivity at the plant level[J]. NBER Working Papers, No. 4321.
- [42] HANCEVIC I P, 2016. Environmental regulation and productivity: The case of electricity generation under the CAAA-1990 [J]. Energy Economics, 60: 131-143.
- [43] JAVORCIK B S, WEI S J, 2005. Pollution havens and foreign direct investment: Dirty secret or popular myth? [J]. Contributions in Economic Analysis and Policy, 3(2): 1244-1244.
- [44] KOICHIRO I, ZHANG S, 2020. Willingness to pay for clean air: Evidence from air purifier markets in China[J]. Journal of Political Economy, 128: 1627-1672.
- [45] KOLSTAD C D, XING Y, 2002. Do lax environmental regulations attract foreign investment?[J]. University of California at Santa Barbara Economics Working Paper, 21(1): 1-22.
- [46] LANOIE P, PATRY M, LAJEUNESSE R, 2008. Environmental regulation and productivity: Testing the porter hypothesis [J]. Journal of Productivity Analysis, 30(2): 121-128.
- [47] MAGAT W A, 1978. Pollution control and technological advance: A dynamic model of the firm[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 5(1): 1-25.
- [48] MAXWELL J W, DECKER C S, 2006. Voluntary environmental investment and responsive regulation[J]. Environmental and Resource Economics, 33(4): 425-439.
- [49] MORGENSTERN R D, PIZER W A, SHIH J S, 2002. Jobs versus the environment: An industry-level perspective[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 43(3): 412-436.
- [50] MULLER N Z, MENDELSON R, NORDHAUS M W, 2011. Environmental accounting for pollution in the United States economy[J]. American Economic Review, 101: 1649-1675.
- [51] NOAILLY J, SMEETS R, 2013. Directing technical change from fossil-fuel to renewable energy innovation: An empirical application using firm-level patent data[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 72: 15-37.
- [52] ORSATO R J, 2006. Competitive environmental strategies: When does it pay to be green? [J]. California Management Review, 48(2): 127-143.
- [53] PAUL S, BHATTACHARYA R N, 2004. CO₂ emission from energy use in India: A decomposition analysis [J]. Energy Policy, 32(5): 585-593.
- [54] PORTER M E, 1991. America's green strategy[J]. Scientific American, 264(4): 193-246.
- [55] PORTER M E, LINDE C V D, 1995. Towards a new conception of the environment-competitiveness relationship[J]. Journal of Economic Perspectives, 4(4): 97-118.
- [56] WALTER I, 1973. The pollution content of American trade[J]. Western Economic Journal, 11(1): 61-70.

Energy Use Technology or Management Technology : The Choice of Links and Types of Green Technology Innovation

Zhang Caiyun^{1,2}, Kou Dongxue³, Zhou Yunbo^{4,5}

(1. Institute of Economics, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100836, China;

2. School of Economics, University of Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100836, China;

3. Institute of Industrial Economics, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100006, China;

4. School of Economics, Nankai University, Tianjing 300071, China;

5. Collaborative Innovation Center for China Economy, Tianjing 300071, China)

Abstract: In order to clarify the impact of environmental regulation on enterprise green technology innovation and its mechanism, from the perspective of the links and types of enterprise green technology innovation, enterprise green technology innovation was divided into two categories and seven sub categories of energy consumption technology innovation and management technology innovation. And enterprise green technology innovation was classified in the links of production chain (source, process and end). By matching the Shanghai and Shenzhen A-share listed companies and China Environmental Statistical Yearbook and China Industrial Economic Statistical Yearbook, the indicators on environmental regulation and enterprise green technology innovation was obtained, and the choice of green technology innovation was researched under the constraint of environmental regulation. The results show that first, environmental regulation does not significantly promote enterprise green technology innovation, and the “innovation compensation” effect is difficult to establish. Second, the internal driving factor is that environmental regulation has significantly reduced the productivity and profitability of enterprises. Third, the external reason is that compared with enterprises in low pollution industries, environmental regulation plays a certain role in promoting green technology innovation in high pollution industries, which is reflected in energy consumption technology innovation, management technology innovation, and distributed in the source, process and end of the production chain; Fourth, the external reasons also include the phased role of environmental regulation. Environmental regulation not only promotes and then inhibits individual green technology innovation indicators, but also affects the establishment of “innovation compensation” effect. Therefore, some enlightenment for the incentive and choice of enterprise green technology innovation under the constraints of environmental policy are provided.

Keywords: green technology innovation; energy use technology; management technology; environmental regulation; the innovation offset effect